



CIRAD-Forêt

**IDEFOR**

Département Forestier

**Bingerville - ABIDJAN - Anguédédou  
République de Côte d'Ivoire**

# **FORMATION A LA VALORISATION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE LIGNOCELLULOSIQUE**

En collaboration avec le

**PÔLE REGIONAL AFRICAIN  
DE THERMOCHIMIE**



Ademe



IEPF



# **LES VOIES HUMIDES : LE BIOGAZ**

**J.François Cousin**

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Languedoc Roussillon, France

## **1 - OBJET**

Ce document a pour objectif la présentation succincte des principes de la méthanisation, des domaines d'application de cette filière de valorisation de la biomasse humide, et de l'expérience acquise en France par la mise en oeuvre d'un important programme de recherche- développement au cours des années 1970- 1980.

## **2 - RAPPEL**

La méthanisation est un procédé ancien, étudié (travaux de Messieurs Ducellier et Isman - 1940) et appliqué à l'épuration des rejets de distilleries, sucreries, ainsi qu'à la stabilisation des boues urbaines depuis de nombreuses années.

Dans certains pays en développement, c'est une technique de traitement des déjections animales largement diffusée (700 000 digesteurs en Inde au début des années 1980 - 7 000 000 de digesteurs en Chine à cette même époque).

Mais ce sont les chocs pétroliers de 1973 et 1976 qui ont été à l'origine de l'essor, en Europe et particulièrement en France, de cette filière énergétique et d'épuration d'effluents, qui cependant depuis le contre-choc pétrolier, n'a pas connu le développement escompté.

## **3 - LES PRINCIPES DE LA METHANISATION**

Réservée aux substrats riches en matière organique et présentant une forte teneur en eau (> 70 %), la méthanisation est un processus biochimique de transformation de la matière organique d'origine animale ou végétale, aboutissant à la production d'un gaz combustible relativement riche et facilement substituable au fioul et au gaz naturel ou G.P.L., le biogaz.

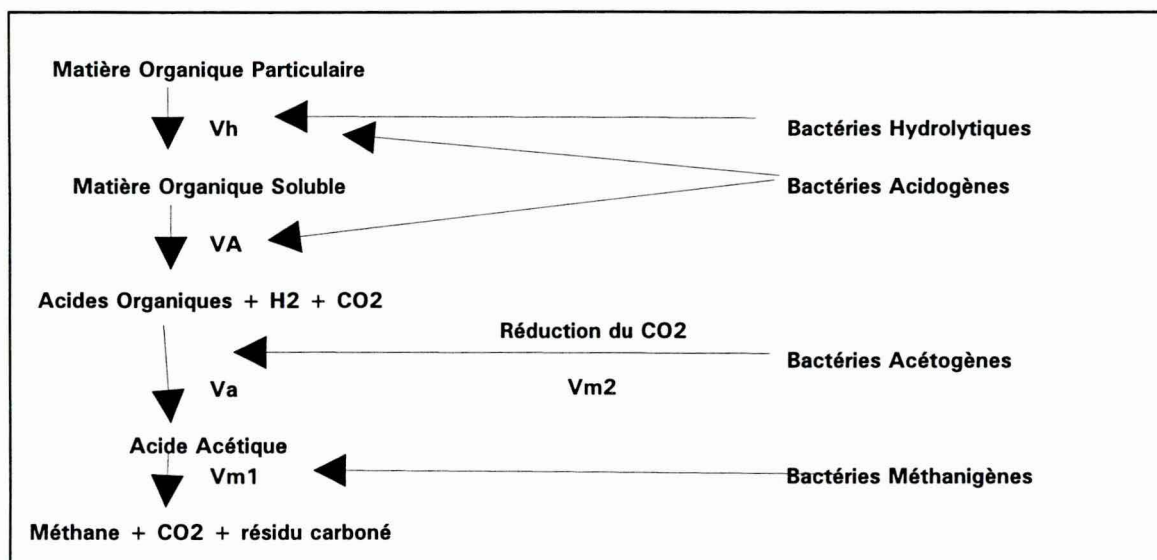
Ce gaz contient 60 % de méthane environ, soit un PCI voisin de 6 kWh/m<sup>3</sup>.

Cette transformation résulte d'une activité microbienne complexe qui se déroule en 3 étapes principales selon le schéma suivant :



## SCHEMA DE LA FERMENTATION METHANIQUE

$$V_h < V_{m1} < V_a < V_A < V_{m2}$$



Chacune des phases de cette dégradation biologique se déroule selon une cinétique qui lui est propre, chacune des populations bactériennes se développe en outre selon des exigences d'environnement particulières plus ou moins strictes (absence d'oxygène, température du milieu, pH). La stabilité de cette fermentation dépend de l'équilibre de ses différentes phases. La vitesse de dégradation des matières, le rendement de production du méthane, dépendent essentiellement de l'activité bactérienne de l'enceinte ou "digesteur", où a lieu cette dégradation, et des caractéristiques du produit de départ.

Pour des substrats agricoles tels que les fumiers, l'étape limitante reste l'hydrolyse dont la vitesse de réalisation, en milieu anaérobie est la plus lente. Les risques d'accumulation d'acides organiques sont faibles. Pour certains effluents agro-alimentaires et lisiers de porcs, la majeure partie de la matière organique étant sous forme soluble, l'étape limitante est la méthanogénèse. Les risques d'accumulation d'acides gras sont alors importants.

D'intenses travaux de recherche ont été menés au cours des dernières années afin, d'une part, de mieux maîtriser l'ensemble du processus de dégradation, d'autre part de favoriser des conditions de milieu propices au meilleur développement de ce processus.

## 4 - LES CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES

### 4.1 - LA TEMPERATURE

La fermentation méthanique peut se produire dans toute la plage des températures comprises entre 10 et 65°C. Il existe cependant trois zones de fonctionnement optimal correspondant à trois populations bactériennes distinctes :

- la zone psychrophile (15 à 25°C),
- la zone mésophile (25 à 45°C),
- la zone thermophile (55 à 65°C).

Le potentiel méthanogène d'un substrat étant déterminé par sa composition, une température plus élevée permettra de produire le même volume de gaz dans un temps plus court. Toutefois, compte tenu des cinétiques respectives de chacune de ces zones et de la nécessité d'un apport extérieur d'énergie plus ou moins important pour maintenir le substrat dans la zone de température choisie, on privilégiera généralement la méthanisation en régime mésophile.

#### **4.2 - LE PH**

Le pH optimum de l'activité des bactéries méthanogènes est voisin de la neutralité. Les AGV (acides gras volatiles) ont une action inhibitrice sur la méthanogénèse. Un pH alcalin est également inhibiteur.

#### **4.3 - ANAEROBIOSE OU ABSENCE D'OXYGENE**

Les bactéries méthanogènes sont très sensibles à la présence d'oxygène. Il est par conséquent impératif d'assurer une anaérobiose stricte du milieu ambiant afin de favoriser la bonne activité de ces bactéries.

#### **4.4 - LES INHIBITEURS**

L'utilisation massive d'antibiotiques ou de désinfectants peut entraîner des difficultés de fermentation. Dans les élevages de taurillons, l'usage d'un facteur de croissance (Monensin ou Rumensin) limite la dégradation totale du substrat. Stimulant biochimique à faible concentration, l'ammoniac peut devenir toxique, voire inhibiteur à forte concentration bien qu'une adaptation des micro-organismes ait été mise en évidence (jusqu'à 5 g/l d'azote ammoniacal).

### **5 - LES RENDEMENTS DE LA METHANISATION**

Toutes les macromolécules ne sont pas dégradées de la même manière. Ainsi la lignine se montre particulièrement réfractaire à la méthanisation. C'est la raison pour laquelle la méthanisation du bois et des déchets les plus ligneux ne peut être envisagée. Les rendements théoriques de la dégradation de la matière organique varient selon les effluents et déchets :

- 45% de la DCO<sup>1</sup> pour les déchets riches en lignocellulose (lisiers,...),
- 95 % à 98 % de la DCO pour les effluents riches en DCO soluble et sous forme carbonée déjà relativement simple (effluents de sucrerie ....),
- 50 % des MVS<sup>2</sup> pour les boues urbaines et les ordures ménagères.

---

<sup>1</sup> Demande Chimique en Oxygène

<sup>2</sup> Matières volatiles sèches

En termes énergétiques, les rendements théoriques limites sont les suivants :

- cellulose : 415 l de CH<sub>4</sub>/kg de cellulose dégradée,
- lipides : 850 l de CH<sub>4</sub>/kg de lipides dégradés,
- glucides : 370 l de CH<sub>4</sub>/kg de glucides dégradés,
- DCO : 320 l de CH<sub>4</sub>/kg de DCO éliminée.

## 6 - LES TECHNOLOGIES

Ce sont les caractéristiques du substrat que l'on va traiter qui détermineront le choix de l'un ou l'autre des divers systèmes proposés.

### 6.1 - LE PROCÉDE DISCONTINU (*PROCÉDE DUCELLIER - ISMAN*)

Réservé au traitement des substrats non pompables (fumiers, pailles,...) le procédé discontinu fait appel à différentes phases dans son déroulement :

- chargement de la cuve et préfermentation assurant une montée en température du substrat,
- fermeture de la cuve et mise en condition de production (ensemencement, mise en température, évacuation de l'oxygène),
- production : en 40 jours, 90 % de l'énergie effectivement disponible est produite,
- ouverture de la cuve et vidange du produit.

La discontinuité d'un tel système a pour conséquence une production séquentielle du biogaz.

Afin d'assurer une certaine continuité de production, on a recours à l'utilisation de plusieurs cuves, dont le démarrage est décalé dans le temps. En France, le principal obstacle au développement d'un tel procédé est le poids de la main d'oeuvre nécessaire à chaque chargement et déchargement. Certains concepteurs ont tenté d'y remédier par une plus grande mécanisation du système, ce qui peut entraîner un renchérissement important de l'installation.

#### 6.1.1 - Les performances obtenues

**Energie produite :** 0,5m<sup>3</sup> de biogaz/m<sup>3</sup> de digesteur/jour.

**Energie disponible :** 50 à 60 % de l'énergie produite soit 0,25 à 0,30m<sup>3</sup> de biogaz/m<sup>3</sup> de digesteur/jour (en climat tempéré)

**Amélioration du procédé :** Par aération forcée du substrat lors de la préfermentation, on favorise au maximum la montée en température initiale du substrat en vue de supprimer la circulation et le réchauffage des jus en cours de fermentation, causes de colmatage et d'auto-consommation d'énergie importante.



## 6.2 - LES PROCEDES CONTINUS

Ce sont les digesteurs les plus fréquemment rencontrés. Ils peuvent être rustiques comme :

- les digesteurs de type indien (Gobar) : Construits comme des puits et enterrés, ils sont très utilisés en zone villageoise pour le traitement des bouses de vache. Leur volume peut varier usuellement de 4 à 30 m<sup>3</sup>. Pour un temps de séjour de 55 jours, la productivité moyenne est de 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de digesteur/jour,
- les digesteurs de type chinois : Essentiellement sphériques et enterrés, ils sont alimentés chaque jour, à partir de fumier et d'excréments humains. D'un volume de 6 à 8 m<sup>3</sup>, leur productivité est de 0,15 à 0,30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de digesteur/jour. Les matériaux solides non digérés s'accumulant, il convient de les vidanger 2 à 3 fois par an.

Plus élaborées, de nombreuses autres technologies ont vu le jour dans la période récente, destinées à traiter :

- soit les résidus à forte teneur en matière sèche. C'est le cas des réacteurs de type "piston" tels que le Transpaille, bien adapté pour le traitement contrôlé des résidus solides agricoles, ou le procédé Valorga, adapté au traitement des ordures ménagères,
- soit les effluents à faible teneur en matière sèche, la teneur en matières non solubles conditionnant le type de réacteur à choisir.

Ainsi, en fonction des caractéristiques de l'effluent à traiter, on rencontrera :

- les réacteurs infiniment mélangés avec brassage du substrat par réinjection de biogaz, équipements largement utilisés pour le traitement des boues de station d'épuration et certains effluents relativement riches en matière sèche (lisiers de porcs et de bovins, fientes de volailles diluées, etc....),
- les réacteurs "Contact anaérobie", comportant un décanteur destiné au recyclage des boues produites par le digesteur,
- les réacteurs à "lit de boue", comportant des matières minérales en suspension destinées à fixer les micro-organismes actifs,
- les réacteurs à cellules fixées, comportant un garnissage fixe (filtre anaérobie) ou mobile (lit fluidisé) destiné à fixer les bactéries actives sous forme de films.

Destinées à la dépollution des effluents des industries agro-alimentaires, ces dernières générations de réacteurs sont caractérisées par des temps de séjour des effluents très réduits, pouvant atteindre quelques heures seulement. Les performances ci-dessous concernent le traitement des lisiers en digesteur infiniment mélangé.

### **Lisiers de porcs :**

Temps de séjour de 10 à 15 jours

Production brute :

- 0,3 m<sup>3</sup> de biogaz/kg de MS/jour soit l'équivalent de 0,1 l de FOD/jour/équivalent porc (70 kgs).

- 1 à 2 m<sup>3</sup> de biogaz/m<sup>3</sup> de digesteur/jour

### **Lisiers de bovins :**

Temps de séjour de 20 à 30 jours.

Production brute :

- 0,28 m<sup>3</sup> de biogaz / kg de MS / jour soit l'équivalent de 0,9 l de FOD/jour/UGB (600 kg)
- 1 à 2 m<sup>3</sup> de biogaz/m<sup>3</sup> de digesteur/jour.

### **Production nette :**

En climat tempéré, elle représente 60 à 70 % de l'énergie brute, le reste étant utilisé pour le maintien en température du digesteur. En climat plus favorable, on privilégiera généralement une bonne inertie thermique du réacteur, permettant de s'affranchir de tout système de réchauffage, la baisse du niveau de température du digesteur en résultant pouvant alors être compensée par un allongement du temps de séjour du substrat. On trouvera ci-dessous, les caractéristiques et les performances des principaux procédés continus de méthanisation.

## **6.3 - L'ENFOUISSEMENT SOUTERRAIN**

Le principe de ce procédé de méthanisation consiste à favoriser la valorisation, dans les décharges d'ordures ménagères existantes, en cours d'exploitation, du biogaz naturellement produit. En 20 ans, 1 tonne de résidus domestiques peut ainsi produire de 100 à 300 m<sup>3</sup> de biogaz.

## **7 - LES UTILISATIONS DU BIOGAZ**

Sans étudier dans le détail la composition et les caractéristiques du gaz produit par fermentation méthanique, il convient de rappeler quelques unes des caractéristiques de ce gaz, celles-ci influant directement sur les usages qui pourront en être faits.

### **7.1 - COMPOSITION ET USAGES**

Le biogaz est essentiellement constitué d'un mélange de méthane (CH<sub>4</sub>) et de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) en proportions variables selon les substrats traités, et dont le pouvoir calorifique inférieur (PCI) variera de 5 kWh, pour 50 % de CH<sub>4</sub>, à 7,5 kWh pour 75 % de CH<sub>4</sub> présent dans le mélange. C'est donc un gaz, tel qu'il sort du digesteur, à PCI relativement faible. Plus riche en CH<sub>4</sub> (65 à 70 %) lorsque le produit est riche en azote (lisiers de porcs et fientes de volaille), il ne contient par contre que 55 à 60 % de CH<sub>4</sub> lorsqu'il est issu de la fermentation de fumier de bovin très pailleux, plus pauvre en azote.

Le biogaz contient généralement quelques constituants mineurs mais dont la présence ne devra jamais être négligée car elle modifie de façon notable les conditions de transport, de stockage et d'utilisation du biogaz. Ce sont principalement l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) sous forme de traces ou jusqu'à 2 à 3 % du volume, l'eau (H<sub>2</sub>O) dont le biogaz est saturé, ces deux constituants s'associant pour donner au biogaz son caractère corrosif.



Dans bien des cas, ces caractéristiques militeront en faveur :

- d'une utilisation la plus immédiate que possible, permettant de limiter les volumes de stockage toujours coûteux,
- de la combustion directe, ou de la carburation en moteur fixe, sur les lieux de production, ces utilisations pouvant généralement s'effectuer sans épuration préalable et à basse pression,
- d'une combustion en torchère, sans valorisation énergétique, lorsque cette dernière n'est pas économiquement intéressante.

Plus rarement, dans des conditions énergétiques et économiques particulières, ou pour des quantités de biogaz importantes, peuvent être envisagés :

- le transport, par canalisation séparée, vers un utilisateur unique, ou l'introduction dans le réseau "gaz naturel" existant,
- la compression haute-pression, et l'utilisation en carburation automobile.

Dans ces deux derniers cas, une épuration poussée, tant du H<sub>2</sub>S que de l'eau et du CO<sub>2</sub> est obligatoire.

En France, les normes à respecter sont alors les suivantes :

- **H<sub>2</sub>S** = 7 mg/NM<sup>3</sup>
- **H<sub>2</sub>O** = 35 mg/NM<sup>3</sup> - point de rosée : - 10°C à la pression requise (200 bars)
- **CO<sub>2</sub>** = en réseau, nécessité de s'adapter au PCI du gaz transporté  
en carburation, éliminer le CO<sub>2</sub> pour éviter le givrage à la détente.

Ces normes d'épuration sont draconiennes et actuellement très difficiles à atteindre à un coût raisonnable.

## **7.2 - LA VALORISATION DU BIOGAZ SUR LES EXPLOITATIONS AGRICOLES**

### **7.2.1 - Production de chaleur**

Sur ces sites, on privilégie généralement la combustion directe.

Pour le chauffage des bâtiments d'élevage, d'habitations, la production d'eau chaude à usage professionnel ou domestique, l'utilisation du biogaz est réalisée dans des appareils domestiques, la modification des brûleurs (réduction de la pression d'alimentation, modification des gicleurs) étant généralement réalisée par l'utilisateur ou l'installateur.

En zone tempérée, la valorisation du gaz est bonne pendant les mois d'hiver, faible, voire nulle, pendant la période estivale, ce qui nuit à la rentabilité économique des projets. On peut citer le cas intéressant du couplage élevage de porcs-laiterie (Haute-Savoie - France) qui permet toute l'année une bonne valorisation du gaz produit.

Dans certains cas, une épuration sommaire du H<sub>2</sub>S est alors réalisée. Cette épuration est toutefois



obligatoire en cas de combustion en atmosphère confinée (oxyde de fer, lavage à l'eau). Dans tous les cas doivent être prévus des équipements résistant à la corrosion (corps de chauffe protégé, gicleur inox, conduit de cheminée inox, etc...) et la mise en place de purges automatiques pour évacuation de l'eau de condensation.

### **7.2.2 - Production d'électricité**

Lorsque les besoins thermiques sont faibles, la production et la vente d'électricité peuvent être envisagées. Les moteurs à allumage électrique sont les plus simples à adapter mais le rendement de transformation électrique est limité (25%). Les moteurs diesel dual fioul-gaz (allumage au fioul) permettent d'atteindre des rendements de conversion en électricité supérieurs (30%) mais sont plus coûteux. Généralement, ces groupes électrogènes sont équipés de systèmes de récupération de chaleur et doivent alors être considérés comme des générateurs d'électricité et d'eau chaude, celle-ci pouvant notamment être valorisée à travers le réchauffage du digesteur.

### **7.2.3 - Carburant automobile**

L'alimentation d'un véhicule automobile est pratiquée après épuration poussée à partir de bonbonnes de stockage à haute pression (200 bars). Exemples : Tracteur (Suisse) - Automobile (France - Italie). Les procédés d'épuration utilisés sont alors le lavage à l'eau sous pression, les charbons actifs, les tamis moléculaires. Soumise à de fortes contraintes, tant techniques (stockage, épuration) que réglementaires (homologation du service des Mines, agrément de la Direction des Hydrocarbures et du Ministère des Finances), la carburant automobile est très peu développée en France. Elle est en revanche très développée en Nouvelle Zélande.

## **7.3 - LA VALORISATION DU BIOGAZ DANS LES INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES**

Ce sont les sites qui ont vu se développer, récemment, les plus importantes installations de méthanisation, dans un but essentiel de dépollution. Le biogaz apparaît alors comme un sous-produit qui peut être directement valorisé, sous forme de combustible dans le processus de fabrication de l'usine. L'adaptation des brûleurs industriels ne pose pas, dans ce cas, de problème important, le stockage est réduit (quelques heures de production), l'épuration peu poussée.

### **7.3.1 - Le traitement des ordures ménagères**

Dans ce dernier cas, les utilisations du biogaz peuvent être très variées. Les décharges contrôlées rencontrent souvent des difficultés pour valoriser le biogaz ainsi produit. Les utilisateurs, ou le réseau "gaz naturel" sont généralement éloignés et les recherches se portent vers la mise en place de procédés qui permettraient la compression haute pression dans des conditions économiques acceptables, et la carburant sur flotte captive.

Dans le cas d'un digesteur de type VALORGA, le problème est résolu par l'injection du gaz dans le réseau "gaz naturel" ou la vente à un industriel proche.

## **7.4 - DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT**

Compte tenu de besoins de chauffage limités, du problème spécifique du bois de feu, de la faiblesse des réseaux de distribution de l'électricité, c'est la cuisson, l'alimentation de groupes fixes (groupe électrogène, motopompe, moulin à mil, etc...) qui sont généralement privilégiées. Les moteurs sont dérivés de moteurs à essence ou de moteurs diesel.

L'injection du gaz est réalisée par insertion d'une bride mélangeuse entre le corps du carburateur et le filtre à air, ou à la base du carburateur pour les moteurs à usage électrique. Le réglage du carburateur s'effectue en ajustant la pression relative entre le gaz et l'air à l'admission, ainsi que le débit de gaz. Dans le cas de moteurs diesel, on conserve généralement une alimentation pilote au fioul. L'alimentation d'un moteur à partir de combustible gazeux se traduit par une légère perte de puissance, dans le cas du biogaz la présence de CO<sub>2</sub> accentuant cet effet. A faible charge, la diminution de rendement est plus marquée.

En effet, la vitesse de circulation du mélange diminuant, la perte de charge sera plus faible sur la ligne gaz, induisant une augmentation de la richesse du mélange. Ce phénomène, important pour les moteurs fixes où le gaz se substitue au fioul peut être limité par un système de contrôle de la différence de pression entre air et gaz. En cas d'alimentation de moteur au biogaz, il faut prévoir un filtre à l'admission pour retenir les impuretés du gaz et favoriser la condensation préalable de l'eau. L'épuration du H<sub>2</sub>S est souhaitable.

## **8 - BILAN ET ENJEUX DE LA METHANISATION**

### **8.1 - L'EXPERIENCE METROPOLITAINE**

De 1978 à 1984, un programme de recherche-développement a été mis en place. Ce programme, soutenu par les pouvoirs publics, a permis à des industriels, à des éleveurs motivés de réaliser de nombreux prototypes de méthanisation. Afin d'établir un bilan des opérations ainsi réalisées, l'AFME et la profession agricole ont mis en place un programme d'évaluation technique et économique qui a permis de préciser les résultats obtenus sur 60 installations de méthanisation de déchets agricoles. Ce travail a été réalisé par le GIDA.

En ce qui concerne le traitement des fumiers en discontinu, ce travail a permis de montrer que le suivi strict de la méthode mise au point par Messieurs Ducellier et Isman permettait l'obtention de résultats satisfaisants. Toutefois, compte tenu des investissements nécessaires souvent élevés, c'est le principe de l'autoconstruction qui, en France était recommandé (voir guide technique du GIDA).

Pour ce qui est des effluents agricoles liquides, le suivi du GIDA a démontré que, compte tenu de coûts d'investissement généralement élevés, et d'une situation énergétique nationale peu propice, seul pouvait se justifier, en France, le développement d'installations dans les élevages de taille importante (100 UGB ou 1000 places de porcs). Seule une prise en compte globale de l'ensemble des recettes ou économies induites (recette énergétique, économie de dépollution ou d'épandage, apport d'amendement organique) peut aujourd'hui conférer une rentabilité aux unités de méthanisation de ce type.



Pour les rejets industriels, les investissements de méthanisation sont généralement du même ordre de grandeur que les investissements concurrents de dépollution. Les frais d'exploitation étant moins élevés dans le cas de la méthanisation, il y a un avantage économique évident pour cette voie dès lors que la dépollution devient nécessaire.

## **8.2 - DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT**

Dans les pays où les réseaux de distribution d'énergie (électricité, fioul) sont peu développés, pas suffisamment fiables, là où la déforestation menace l'équilibre écologique, la méthanisation des résidus de l'agriculture et des effluents d'élevage peut satisfaire les besoins énergétiques domestiques (cuisson, éclairage) et la petite motorisation (meunerie, exhaure de l'eau d'irrigation) tout en assurant un retour des matières organiques méthanisées aux sols agricoles, le maintien de la fertilité des sols étant une condition essentielle de la conservation du milieu.

Dès lors que les résidus agricoles sont mobilisables, et que leur utilisation n'est pas susceptible d'entraîner une concurrence néfaste, leur valorisation énergétique par méthanisation peut être envisagée. La production autonome d'énergie, par méthanisation de sous-produits agricoles est susceptible :

- de substituer l'utilisation du biogaz à la consommation de bois de feu, pour la cuisson des aliments, dans les zones sensibles à la désertification,
- de faciliter le développement de la petite motorisation agricole (pompage, meunerie) en évitant le recours au réseau électrique (peu développé et coûteux) et en réduisant la dépendance vis à vis des produits pétroliers importés et coûteux (80 % d'économie pour l'alimentation d'un moteur dual fuel - biogaz),
- de contribuer à la mise en place de petits périmètres irrigués, seul moyen pour les agriculteurs de s'affranchir des aléas climatiques (apport de quelques millimètres d'eau en période critique),
- d'améliorer la fertilité et la productivité des sols par l'apport annuel des matières organiques résiduelles méthanisées.

Dans de nombreux cas, le coût de mise à disposition de telles installations n'est pas encore à la portée de leur utilisateur final qui ne comptabilisera pas forcément l'ensemble des gains évoqués ci-dessus. En revanche, le développement d'une telle filière, dans des conditions appropriées, peut représenter un intérêt réel pour les zones confrontées aux problèmes du sous-développement et de la désertification, notamment par la mise en oeuvre de techniques culturelles nouvelles. On notera que d'ores et déjà, certaines populations rurales (groupements maraîchers notamment) paraissent en mesure d'assurer une partie non négligeable de l'investissement nécessaire, compte tenu des retombées financières pouvant résulter de la mise en place d'un tel système.

La méthanisation des effluents industriels trouve également toute sa justification dans les pays en développement où elle peut contribuer, parfois de façon notable, à la réduction du déficit énergétique national, tout en améliorant les conditions de dépollution, parfois inexistantes, de ces effluents. On trouvera ci-dessous une liste indicative de déchets et effluents, susceptible de subir, dans les pays en développement, une telle transformation.



Secteur	Déchets	Niveau de	Acteur / Lieu
Café	Pulpe humide	pilote	IRCC VALORGA - COTE D'IVOIRE
	Marc	laboratoire	
Cacao	Coque Cabosse	laboratoire	IRCC
Noix de Coco	Eaux de process	laboratoire	
Palmier à huile	Eaux de process	pilote	BIOMAGAZ
Canne à sucre	Eaux de process	taille réelle	SGN - GUADELOUPE
Elevage	Fumier	taille réelle	TRANSPAILLE - SENEGAL - NIGER
		taille réelle	CIEH - IRAT - BURKINA FASO
	Lisiers	taille réelle	GTZ - COTE D'IVOIRE
Eaux urbaines		taille réelle	EUROPE
Brasseries		taille réelle	EUROPE
Conserverie de légumes		taille réelle	EUROPE
Abattoirs	Effluents liquides	taille réelle	EUROPE
Ordures Ménagères		taille réelle	FRANCE

## 9 - EXEMPLES D'APPLICATIONS DE LA METHANISATION DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

### 9.1 - *SUBSTITUTION DU BIOGAZ AU BOIS DE FEU DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL*

Dans le cadre d'aménagements hydro-agricoles pour la culture du riz irrigué, un projet a été étudié par la SAED en 1990, dont l'objectif consiste à assurer à partir d'une production de biogaz, la couverture des besoins en bois de feu, dans une région touchée par la déforestation et l'afflux des migrants. La mise en oeuvre du projet est assurée par le GIE Agriforce. Des unités individuelles de méthanisation d'un substrat composé de paille de riz et d'excréments d'animaux parqués, ont été mises en place et suivies. Ces unités comprennent :

- un fermenteur continu de type Transpaille (piston) de 3,5 m<sup>3</sup>,
- un gazomètre souple de 2 m<sup>3</sup>,
- une cuisinière constituée d'un moteur adapté intégré dans un foyer amélioré.

Réalisée fin 1991 (Source SAED-AGRIFORCE) l'analyse économique montre que la méthanisation est en concurrence avec le bois et le butane vendus sur la zone du projet (Voir Tableaux).



Combustible	Consommation annuelle	Prix unitaire	Investissement	Charges variables	Charges totales
		(F)	(F)	(F/an)	(F/an)
BOIS 1	5 500 kg	0,3	0	1 650	1 650
BOIS 2	5500 kg	0,4	0	2 200	2 200
BOIS 3	4400 kg	0,6	50	2 640	2 690
BUTANE 1	515 kg	3	230	1 545	1 591
BUTANE 2	515 kg	4,5	230	2 318	2 364
BIOGAZ 1	1 095 m <sup>3</sup>	0	34 000	300	3 133
BIOGAZ 2	1 095 m <sup>3</sup>	0	19 000	300	1 883
BIOGAZ 3	1 095 m <sup>3</sup>	0	19 000	400	1 183

BOIS 1	bois à la charette
BOIS 2	bois au tas
BOIS 3	bois vendu au prix préconisé par les experts pour en diminuer la consommation, avec foyer amélioré
BUTANE 1	subventionné
BUTANE 2	prix réel
BIOGAZ 1	unité de méthanisation au prix actuel clés en main, capacité de production de 3 m <sup>3</sup> /jour et de 3,5 tonnes compost/an, amortissement 12 ans
BIOGAZ 2	unité fabriquée en série et subventionnée au prorata de la subvention accordée au butane (1 m <sup>3</sup> de biogaz = 0,47 kg butane)
BIOGAZ 3	idem biogaz 2, avec prise en compte d'un prix "reflet" du compost de 0,2 Francs/kg

Tableaux tirés de " Le Biogaz. Procédés de fermentation méthanique" Bertran de La Farge

## 9.2 - MODULES BIOGAZ-COMPOST EN PETITE IRRIGATION

Mis au point par le CIEH au Burkina Faso et l'ISRA au Sénégal, ces modules consistent à reproduire en centre de recherche, une entité agricole basée sur l'intégration de l'élevage, le recyclage des déchets par méthanisation et la petite irrigation alimentée au biogaz. Le calcul des besoins en eau d'irrigation permet de caler ce type de module avec un système de cultures adapté et performant, en tablant sur une irrigation de complément des cultures céréalières en saison des pluies et une irrigation totale des cultures maraîchères et fourragères de saison sèche. Pour la motorisation, les petites groupes électrogènes dual de 5 à 10 KVA ont été retenus pour leur grande souplesse d'utilisation. Le compost produit est valorisé par des cultures irriguées en association avec les doses d'engrais préconisées. Un apport de 5 t de MS de compost/ha entraîne une amélioration de rendement de 30%.

### **EXEMPLE :**

Unité "Petite Motorisation Rurale" Bambey Sénégal - Transpaille de 9 m<sup>3</sup>

- **Production énergétique :** 1750 m<sup>3</sup> de Biogaz/an  
 Soit une production de : 175 l de biogaz/kg de biomasse méthanisée  
 530 l de biogaz/m<sup>3</sup> de digesteur/jour

Utilisation :                      Pompage de 8000 m<sup>3</sup> d'eau/an  
    Eclairage  
    Cuisson des aliments

**- Production de compost :** 18 tonnes de compost/an (à 30% de MS)

Biomasse produite :	0,8 ha d'arachide → 1,9 t de fanes	Alimentation de 2 Boeufs de trait
	1,2 ha de mil     → 2,4 t de fourrage	
	→ 0,43 t de grain	

Biomasse utilisée :	2 boeufs de trait → 2 t MS/an
	Culture            → 8 t MS/an

	-----
TOTAL	10 T MS/an

## CONCLUSION

Après une importante vague d'expérimentation, tant en France qu'en Europe, mais également en Afrique, les facteurs qui déterminent le développement de cette technologie sont aujourd'hui essentiellement politico-économiques.

Dans les pays développés, dans un contexte énergétique actuellement peu favorable au développement des énergies renouvelables, des contraintes d'environnement de plus en plus fortes constituent une pression qui devrait cependant contribuer à renforcer l'intérêt pour cette voie. Dans les pays du Sud, le développement s'accompagnera obligatoirement d'un accroissement des consommations d'énergie et de fertilisants. La valorisation agro-énergétique de la biomasse doit constituer une composante des programmes d'aménagement mis en oeuvre, afin que le développement puisse s'effectuer en harmonie avec les préoccupations en matière d'environnement.

La méthanisation en milieu rural doit être considérée comme un exemple de technologie appropriée dans les pays en développement, susceptible de participer à la lutte contre la déforestation, au maintien de la fertilité des sols et à l'amélioration des conditions sanitaires.

A ce jour, de nombreux programmes de recherche-développement ont été identifiés, mais la rareté du capital et l'accès limité à l'emprunt font obstacle aux initiatives privées en faveur du recours aux énergies renouvelables telles que la méthanisation. Seuls des programmes d'aide à la diffusion, ciblés sur les domaines d'application et les contextes locaux les plus favorables à son développement, permettront un véritable développement de la méthanisation des sous-produits agricoles.

Cette synthèse a été établie à partir de divers documents dont on trouvera les références dans la bibliographie jointe. Sa mise à jour a été effectuée à partir du document : "Le Biogaz. Procédés de fermentation méthanique" Bertran de La Farge. Masson 1995.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

"Le Biogaz ": Biomasse Actualité - numéro spécial n° 2 - Janvier 1983

"La méthanisation des fumiers " : Guide de l'autoconstruction AFME GIDA N° 611 - Mars 1986

"Mise en oeuvre et utilisation du biogaz " : JP. Perret, AFME N° 305 - Décembre 1983

"Biogaz " : GRET GERES - ISBN 2-11 084791 - 3

"Valorisation énergétique des sous-produits des industries agro-alimentaires" :Comité Consultatif ONUDI/FRANCE

"La méthanisation des déjections animales " : AFME - Mai 1984

"Le biogaz - Procédés de fermentation méthanique " : Bertran de La Farge MASSON - 1995

### **DANEMARK: développement de la " Codigestion "**

Les installations centralisées " codigèrent " des déjections animales (lisier + fumier) et des déchets organiques divers, produisant du biogaz et des fertilisants organiques. Les lisiers sont collectés dans un certain nombre d'élevages et transportés vers l'unité centrale de digestion. Le lisier digéré (effluent) est ensuite restitué, sous la forme d'un engrais organique bien identifié, en partie à l'éleveur qui avait fourni le lisier et en partie à des producteurs de céréales voisins. Le mélange qui est introduit dans les digesteurs (substrat) est en moyenne composé de 70-90% de lisier et de 10-30% de déchets organiques issus d'abattoirs ou d'industries alimentaires. Certaines unités ont aussi la possibilité d'ajouter des boues activées (provenant de stations d'épuration) et des ordures ménagères (préalablement triées). La capacité d'accueil des installations varie de 50 à 500 tonnes de substrat par jour, produisant de 1000 à 15000 m<sup>3</sup> de biogaz à 65% de CH<sub>4</sub> par jour. La codigestion est le mélange, dans les réacteurs de toutes sortes de substrats organiques: toutes les biomasses disponibles dans le périmètre d'influence de la coopérative sont considérées comme fermentescibles et collectables. La plupart des installations peuvent digérer les déchets de plus d'une dizaine d'industries.

Extrait du n° 114 Juillet-Aout 1996 de Systèmes Solaires consacré au Biogaz.